



(19)

(11) Publication number:

**09243656 A**

Generated Document.

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**(21) Application number: **08049367**(51) Intl. Cl.: **G01P 15/09 G01P 15/10 H01L 29/84 H01L 41/08 H01L 41/22**(22) Application date: **06.03.96**

(30) Priority:

(43) Date of application publication: **19.09.97**

(84) Designated contracting states:

(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**(72) Inventor: **OOTSUCHI TETSUO  
SUGIMOTO MASAHIRO  
OGURA TETSUYOSHI  
TOMITA YOSHIHIRO  
KAWASAKI OSAMU**

(74) Representative:

**(54) ACCELEROMETER  
AND ITS MANUFACTURE**

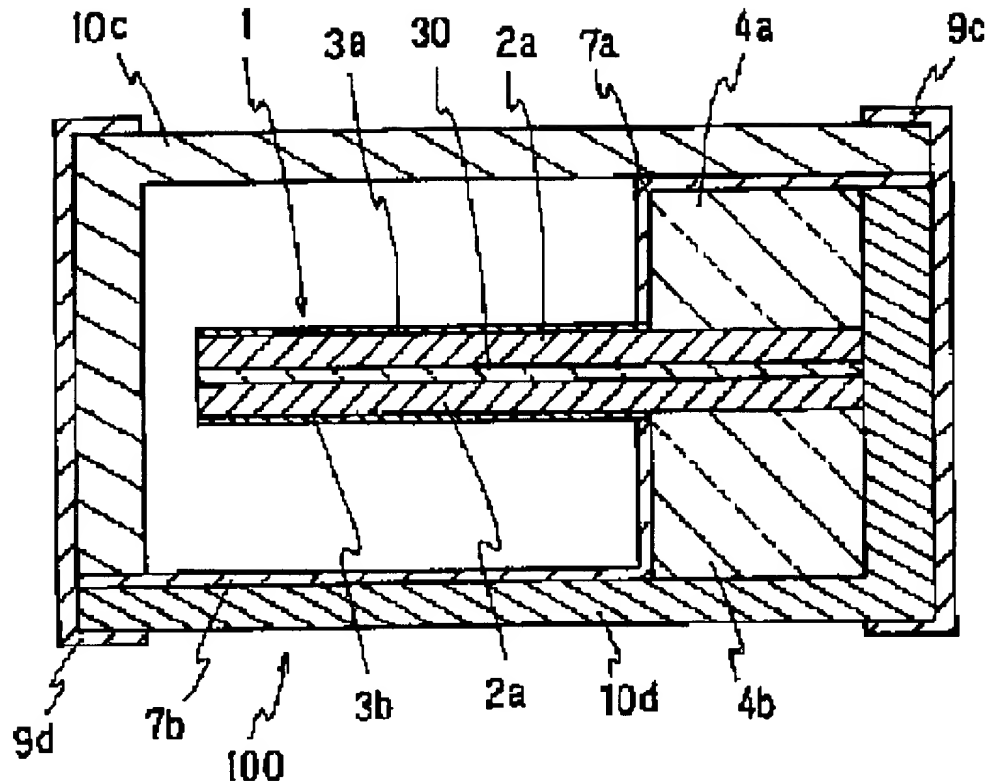
(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an accelerometer which is excellent in a shock-resistant property, which can measure even a large acceleration, whose sensitivity is high over a wide frequency region in which an irregularity in a characteristic such as sensitivity or the like is extremely small and which is compact.

**SOLUTION:** Piezoelectric substrates (composed of LiNbO<sub>3</sub>) 2a are formed on both faces of a shim (an Si substrate) 30 by a direct bonding operation. The piezoelectric substrates 2a and piezoelectric substrates are bonded in such a way that the direction of apolarization axis becomes an opposite direction. One end of a piezoelectric element is

sandwiched and held between supports (composed of LiNbO<sub>3</sub>) 4a, 4b. In this case, the piezoelectric substrates 2a are bonded directly to the supports 4a, 4b. Electrodes 3a, 3b are formed respectively in parts which are not sandwiched and held between the supports 4a, 4b on outside faces of the piezoelectric substrates 2a. A piezoelectric oscillator 1 is housed in a container 10d in which the surface and one side face are opened and which is composed of LiNbO<sub>3</sub>. The supports 4a, 4b are bonded directly to the inside wall of the container 10a. A container 10c which is composed of LiNbO<sub>3</sub> and whose shape is identical to that of the container 10d is bonded to the container 10d.

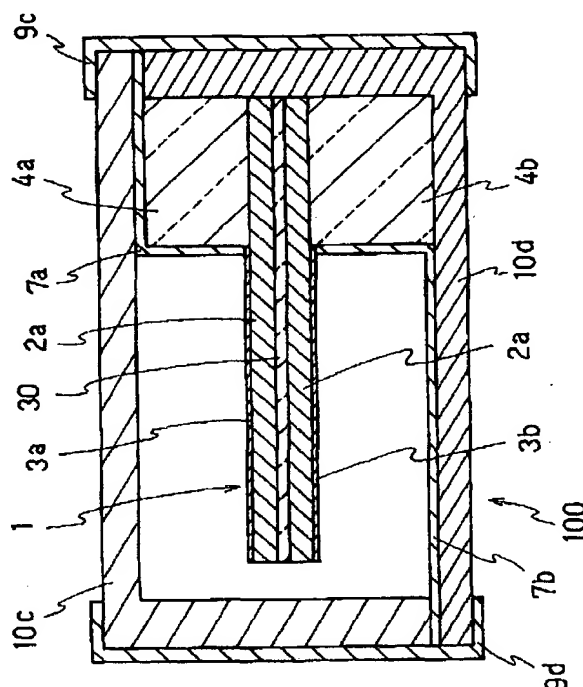
COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成9年(1997)9月19日

最終頁に続く



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 シムに圧電体が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えた加速度センサ。

【請求項2】 シムの材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つである請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項3】 圧電体の材料がニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つである請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項4】 圧電振動子が支持体に直接接合されることによって支持されている請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項5】 圧電振動子の一端が支持体に支持されている請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項6】 圧電振動子の両端が支持体に支持されている請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項7】 圧電振動子が容器に収納され、支持体が前記容器に直接接合されることによって固定されている請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項8】 シムが支持体に直接接合されることにより、圧電振動子が支持体に支持されている請求項1に記載の加速度センサ。

【請求項9】 シム基板に形成された梁と、前記梁の少なくとも一方の面に圧電基板が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を収納する容器とを備え、前記圧電振動子と前記容器とが直接接合されている加速度センサ。

【請求項10】 シム基板の材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つである請求項9に記載の加速度センサ。

【請求項11】 圧電基板の材料がニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つである請求項9に記載の加速度センサ。

【請求項12】 シム基板に形成された梁が片持ち梁である請求項9に記載の加速度センサ。

【請求項13】 シム基板に形成された梁が両片持ち梁である請求項9に記載の加速度センサ。

【請求項14】 シム基板が容器に直接接合されることにより、圧電振動子が容器に支持されている請求項9に記載の加速度センサ。

【請求項15】 シム及び圧電体からなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えた加速度センサの製造方法であって、シムに圧電体を直接接合することによって圧電素子を形成することを特徴とする加速度センサの製造方法。

【請求項16】 圧電体の材料がニオブ酸リチウム、タ

ンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つである請求項15に記載の加速度センサの製造方法。

【請求項17】 シムの材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つである請求項15に記載の加速度センサの製造方法。

【請求項18】 シムの一部を支持体に直接接合することにより、圧電振動子を支持体に支持する請求項15に記載の加速度センサの製造方法。

【請求項19】 圧電振動子を収納する容器をさらに備え、前記容器にシムの一部を直接接合する請求項15に記載の加速度センサの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、加速度の測定及び振動の検知等に用いられる加速度センサ及びその製造方法に関する。さらに詳細には、小型で高性能な加速度センサ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、電子機器の小型化が進み、ノート型パソコン等の携帯用電子機器が普及してきた。これらの電子機器の衝撃に対する信頼性を確保し向上させるために、小型で表面実装可能な高性能加速度センサへの需要が高まっている。

【0003】例えば、高密度なハードディスクへの書き込み動作中に衝撃が加わると、ヘッドの位置ずれが生じ、データの書き込みエラーやヘッドの破損を引き起こす可能性がある。このため、ハードディスクに加わった衝撃を検出し、書き込み動作を停止させたり、ヘッドを安全な位置に退避させる技術が必要となる。

【0004】また、自動車の衝突時の衝撃から搭乗者を保護するためのエアバック装置の衝撃検知用加速度センサなどの需要も高まっている。

【0005】従来、加速度センサとしては、圧電セラミック等の圧電材料を用いたものが知られている。これらの加速度センサは、圧電材料の電気-機械変換特性を利用することによって、高い検出感度を実現することができる。圧電型の加速度センサは、加速度や振動による力を圧電効果により電圧に変換して出力する。

【0006】このような加速度センサとしては、特開平2-248086号公報に開示されているような片持ち梁構造の矩形状バイモルフ型圧電振動子がある。バイモルフ型圧電振動子は、電極を形成した圧電セラミックをエポキシ樹脂等の接着剤により貼り合わせて形成される。片持ち梁構造は、バイモルフ型圧電振動子の一端を導電性接着剤などによって固定部材に接着固定したものである。片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子は、その共振周波数が低いために、比較的低い周波数成分を有する加速度を測定するのに用いられる。また、高い周波数領域の加速度を測定する場合には、その両端を接着剤等によって固定部材に接着固定した両持ち梁構造のバイ

モルフ型圧電振動子が用いられる。圧電振動子の両端を固定することにより、共振周波数を比較的高くすることができる。

【0007】以上のような加速度センサは、いずれも圧電セラミックの接着、圧電振動子の支持にエポキシ樹脂等からなる接着剤を用いているが、圧電セラミックのヤング率  $15 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$  に比べてエポキシ樹脂のヤング率は  $200 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$  と大きいので、加速度が加わることによる圧電振動子の振動をエポキシ樹脂が吸収し、感度を低下させる原因となる。また、接着層を均一にして接着することは困難であるため、圧電振動子の特性にばらつきが生じるといった問題点があった。

【0008】この問題を解決する方法の1つとして、接着剤を用いることなく、圧電体と支持体及び圧電振動子を収納する容器を直接接合技術によって接合する方法が提案されている(特開平7-261240号公報)。

【0009】加速度センサとしては、他にシリコンを用いたものが知られている。シリコンは、機械的性質が良好で、かつ、微細加工を施し易いといった優れた特性を有している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記のような直接接合技術を用いた加速度センサは、加速度を検出する梁部が圧電体のみで構成されているために、十分な機械的強度が得られず、大きな衝撃に耐えられずに破損してしまう虞れがあった。このため、上記のような直接接合技術を用いた加速度センサは、測定可能な加速度の大きさが制限されるといった問題点を有していた。

【0011】圧電型の加速度センサにおいては、一般に、電界効果トランジスタ(FET)からなる増幅器を用いて電圧が検出される。図14に示すように、加速度センサは、電界効果トランジスタ(FET)のゲートに抵抗Rと並列に接続される。この回路を用いた場合、低周波数側の測定範囲は、加速度センサの静電容量Cと抵抗Rとによって決まるカットオフ周波数  $f = 1/2\pi RC$  で規定される。このため、抵抗R又は加速度センサの静電容量Cが大きいほど、低い周波数まで応答することが可能となる。加速度センサの静電容量Cは、材料が同一の場合、圧電体の厚さが薄いほど大きくなる。低周波数まで測定可能とするためには、圧電体の厚さを薄くすればよいが、圧電体の厚さが薄くなれば、それだけ機械的強度が低下して割れ易くなると共に、工程上での取り扱いも困難になる。

【0012】これらの問題点を解決するために、「シム」と呼ばれる弾性体に圧電体を接着して、圧電振動子の機械的強度を高めるといった方法が採られる。しかし、接着剤を用いて圧電体とシムを接着すると、加速度が加わることによる圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、感度を低下させる原因となる。また、接着層を均一にして

接着することは困難であるため、圧電振動子の特性にばらつきが生じるといった問題点がある。

【0013】また、矩形形状のバイモルフ型圧電素子の感度を安定させるためには、その共振周波数を安定にすることが必要である。この場合、圧電素子の固定状態を安定なものとする必要があるが、実際には、機械的あるいは温度変化などによって発生する応力に起因して、金属等の支持部又は固定部材で支持又は固定している部分にずれが生じる。例えば、接着剤を用いて固定する場合には、接着剤の塗布範囲によって固定位置が変わってしまい、圧電振動子の共振周波数がばらついてしまう。また、接着剤の温度変化によって固定状態が変動し、安定な固定状態を実現することは困難である。

【0014】また、圧電体のみで圧電振動子を構成した場合には、圧電体自身が支持されることになり、支持部付近では、加速度が加わった場合の変位を大きくとることができないため、高い感度が得られないといった問題点がある。

【0015】また、1つ1つの圧電振動子を別個に作製して、容器に収納する場合には、製造工程上ハンドリングなどが困難となり、加速度センサの小型化が妨げられると共に、量産性の低下を招くといった問題点がある。

【0016】また、シリコンは機械的性質や加工性に優れる反面、圧電性が小さい。このため、歪抵抗膜等を形成するが、加速度に対する十分高い感度が得られないといった問題点がある。

【0017】本発明は、従来技術における前記課題を解決するためになされたものであり、対衝撃性に優れ、大きな加速度に対しても測定可能で、広い周波数領域にわたって高感度を有し、しかも感度等の特性のばらつきの極めて小さい小型の加速度センサを提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明に係る加速度センサの第1の構成は、シムに圧電体が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えたものである。

【0019】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、シムの材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0020】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、圧電体の材料がニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0021】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、圧電振動子が支持体に直接接合されることによって支持されているのが好ましい。

【0022】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、圧電振動子の一端が支持体に支持され

ているのが好ましい。

【0023】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、圧電振動子の両端が支持体に支持されているのが好ましい。

【0024】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、圧電振動子が容器に収納され、支持体が前記容器に直接接合されることによって固定されているのが好ましい。

【0025】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成においては、シムが支持体に直接接合されることにより、圧電振動子が支持体に支持されているのが好ましい。

【0026】また、本発明に係る加速度センサの第2の構成は、シム基板に形成された梁と、前記梁の少なくとも一方の面に圧電基板が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を収納する容器とを備え、前記圧電振動子と前記容器とが直接接合されていることを特徴とする。

【0027】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成においては、シム基板の材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0028】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成においては、圧電基板の材料がニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0029】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成においては、シム基板に形成された梁が片持ち梁であるのが好ましい。

【0030】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成においては、シム基板に形成された梁が両片持ち梁であるのが好ましい。

【0031】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成においては、シム基板が容器に直接接合されることにより、圧電振動子が容器に支持されているのが好ましい。

【0032】また、本発明に係る加速度センサの製造方法は、シム及び圧電体からなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えた加速度センサの製造方法であって、シムに圧電体を直接接合することによって圧電素子を形成することを特徴とする。

【0033】また、前記本発明方法の構成においては、圧電体の材料がニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム及び水晶からなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0034】また、前記本発明方法の構成においては、シムの材料がシリコン及びガラスからなる群から選ばれる1つであるのが好ましい。

【0035】また、前記本発明方法の構成においては、

シムの一部を支持体に直接接合することにより、圧電振動子を支持体に支持するのが好ましい。

【0036】また、前記本発明方法の構成においては、圧電振動子を収納する容器をさらに備え、前記容器にシムの一部を直接接合するのが好ましい。

【0037】前記本発明の加速度センサの第1の構成によれば、シムに圧電体が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えたものであるため、以下の作用を奏することができる。すなわち、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電体をシムに直接接合することによって圧電素子を形成するようにしたので、従来のように圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、感度を低下させることはない。また、シムと圧電体の接合状態が均一となるので、特性にばらつきが生じることもない。また、十分な機械的強度が得られるので、高い対衝撃性を有する加速度センサを実現することができる。

【0038】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成において、圧電振動子が支持体に直接接合されることによって支持されているという好ましい例によれば、以下の作用を奏することができる。すなわち、接着剤を用いることなく、圧電振動子を支持体に直接接合するようにしたので、圧電振動子の位置合わせを高精度に行うことができる。その結果、梁部の長さや支持状態にばらつきが生じることはないため、安定性が高く、特性のばらつきの極めて小さい加速度センサを実現することができる。

【0039】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成において、圧電振動子の一端が支持体に支持されているという好ましい例によれば、片持ち梁構造の加速度センサを実現することができる。

【0040】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成において、圧電振動子の両端が支持体に支持されているという好ましい例によれば、両持ち梁構造の加速度センサを実現することができる。そして、同じ長さ、厚さの圧電振動子であっても、片持ち梁構造の場合より共振周波数が高くなるので、さらに高い周波数領域の加速度を測定することが可能となる。

【0041】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成において、圧電振動子が容器に収納され、支持体が前記容器に直接接合されることによって固定されているという好ましい例によれば、圧電振動子の位置合わせを高精度に行うことができる。その結果、梁部の長さや支持状態にばらつきが生じることはないため、安定性が高く、特性のばらつきの極めて小さい加速度センサを実現することができる。

【0042】また、前記本発明の加速度センサの第1の構成において、シムが支持体に直接接合されることにより、圧電振動子が支持体に支持されているという好まし

い例によれば、圧電体をも含めて支持体に直接接合されている場合に比べ、同じ加速度に対して大きな変位が得られる。また、圧電体は支持体に支持されていないため、支持部付近をも含めて圧電振動子の長さ方向の全域で変位が得られる。その結果、高い感度を有する加速度センサを実現することができる。

【0043】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成によれば、シム基板に形成された梁と、前記梁の少なくとも一方の面に圧電基板が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を収納する容器とを備え、前記圧電振動子と前記容器とが直接接合されていることを特徴とするので、圧電振動子の位置合わせを高精度に行うことができるので、梁部の長さや支持状態にばらつきが生じることはない。その結果、安定性が高く、特性のばらつきの極めて小さい加速度センサを実現することができる。また、本構成によれば、1枚の基板に多数の加速度センサを一度に作製することが可能となるので、量産性に優れた加速度センサを実現することができる。

【0044】また、前記本発明の加速度センサの第2の構成において、シム基板が容器に直接接合されることにより、圧電振動子が容器に支持されているという好ましい例によれば、圧電基板をも含めて容器に直接接合されている場合に比べ、同じ加速度に対して大きな変位が得られる。また、圧電基板は容器に支持されていないため、支持部付近をも含めて圧電振動子の長さ方向の全域で変位が得られる。その結果、高い感度を有する加速度センサを実現することができる。

【0045】また、前記本発明方法の構成によれば、シム及び圧電体からなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えた加速度センサの製造方法であって、シムに圧電体を直接接合することによって圧電素子を形成することを特徴とするので、以下の作用を奏することができる。すなわち、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電体をシムに直接接合することによって圧電素子を形成するようにしたので、従来のように圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、感度を低下させることはない。また、シムと圧電体の接合状態が均一となるので、特性にばらつきが生じることもない。また、十分な機械的強度が得られるので、高い対衝撃性を有する加速度センサが得られる。

【0046】

【発明の実施の形態】以下、実施の形態を用いて本発明をさらに具体的に説明する。

【0047】〈第1の実施の形態〉図1は本発明の第1の実施の形態の圧電振動子を示す斜視図である。図1に示すように、シリコン(Si)からなるシム30の両面には、直接接合によってニオブ酸リチウム(LiNbO

3)からなる圧電基板2a、2bがそれぞれ形成されている。また、圧電基板2a、2bの外側面には、電極3a、3bがそれぞれ形成されている。以上により、バイモルフ型の圧電振動子1が構成されている。

【0048】以下に、上記のような構成を有する圧電振動子の製造方法の一例について説明する。

【0049】図2は本発明の第1の実施の形態の圧電振動子の製造方法における直接接合の各段階の基板界面状態を示す説明図である。図2中、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ は基板間の距離を示している。まず、圧電基板2a、2bであるLiNbO<sub>3</sub>基板とシム30であるSi基板の接合面を鏡面研磨した。次いで、これらの基板を、アンモニアと過酸化水素と水の混合液(アンモニア水:過酸化水素水:水=1:1:6(容量比))で洗浄し、親水化処理を施した。図2(a)に示すように、この薬品で洗浄された圧電基板2a、2b(2bについては図示せず)とシム30の表面は-OH基で終端され、親水性になる(接合前の状態)。

【0050】次いで、図2(b)に示すように、親水化処理を施した2枚の圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bを、分極軸の向きが逆方向となるようにシム(Si基板)30の両面に接合させた( $L_1 > L_2$ )。これにより、脱水が起こり、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bとシム(Si基板)30の表面は-OH基で終端され、両基板は-OH重合や水素結合などの引力により引き合って接合された。

【0051】次いで、上記のようにして接合させた圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bとシム(Si基板)30に、250℃の温度で熱処理を施した。これにより、図2(c)に示すように、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bとシム(Si基板)30との間が酸素(O)を介して共有結合した状態となり( $L_2 > L_3$ )、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bとシム(Si基板)30とが原子レベルで強固に直接接合された。すなわち、接合の界面に中間層が存在しない結合状態が得られた。尚、LiNbO<sub>3</sub>のキュリー点は1210℃であり、これに近い温度履歴により特性が劣化するため、熱処理温度はキュリー点以下であるのが望ましい。

【0052】接合したいものの鏡面研磨された面同士を表面処理して、接触させることにより、接着剤などの接着層を介さずに界面間に直接生ずる接合を「直接接合」と呼ぶ。一般的に、熱処理を施すことにより、分子間力による接合から共有結合やイオン結合などの原子レベルの強力な結合となる。ウェハ材料によっては、直接接合の処理中に接合界面に酸化膜が形成されて、バッファ層となる場合もある。LiNbO<sub>3</sub>とSiとの直接接合は異種基板間の接合であり、同種基板間に比べて直接接合させるのは困難であるが、表面に薄い酸化シリコン膜を形成し、この酸化シリコン膜を介して直接接合を行うこともできる。

【0053】次いで、シム(Si基板)30に接合した圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bの外側面に、真空蒸着法を用いてクロム-金を蒸着し、電極3a、3bを形成した(図1参照)。最後に、ダイシングソーを用いて所定の大きさの短冊状に切断加工し、バイモルフ型の圧電振動子1を作製した。

【0054】バイモルフ型の圧電振動子1は、一端又は両端を支持部材に支持させることにより、片持ち梁構造又は両持ち梁構造とすることができる。

【0055】図3に、本発明の第1の実施の形態の片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子の断面図を示す。図3に示すように、シム(Si基板)30の両面には、直接接合によって圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bがそれぞれ形成されている。ここで、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2aと圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2bは、分極軸の向きが逆方向となるようにシム(Si基板)30の両面に接合されている。この圧電素子の一端は、LiNbO<sub>3</sub>からなる支持体4a、4bに挟持された状態で固定されている。ここで、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bは、それぞれ支持体4a、4bに直接接合されている。圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bの外側面には、支持体4a、4bに挟持されていない部分に電極3a、3bがそれぞれ形成されている。以上により、片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子1が構成されている。

【0056】図4は本発明の第1の実施の形態の加速度センサの一例を示す分解斜視図である。図4に示すように、図3に示す構造を備えた片持ち梁構造の圧電振動子1は、中央部にエッチングなどの方法によって陥没部が形成されたLiNbO<sub>3</sub>からなる容器10b内に収納され、支持体4a、4b(図3参照)は容器10bの内側壁に直接接合されている。そして、容器10bには、同じくLiNbO<sub>3</sub>からなる容器10aが接合されている。容器10a、10bの両端面には、圧電振動子1からの出力信号を外部に取り出すための外部電極9a、9bが形成されている。これにより、加速度センサ100が構成されている。

【0057】図5は本発明の第1の実施の形態の速度センサの他の例を示す断面図である。図5に示すように、図3に示す構造を備えた片持ち梁構造の圧電振動子1は、上面と一側面が開いたLiNbO<sub>3</sub>からなる容器10d内に収納され、支持体4a、4bは容器10dの内側壁に直接接合されている。電極3a、3bには、支持体4a、4bと容器10dを這わせた状態で導電層7a、7bが接続されており、導電層7a、7bの他端部は容器10dの端部に露出している。容器10dには、同じくLiNbO<sub>3</sub>からなる容器10cと同じ形状の容器10cが接合されている。容器10c、10dの外側面には外部電極9c、9dが形成されており、外部電極9c、9dは導電層7a、7bにそれぞれ導通してい

る。これにより、圧電振動子1からの出力信号を外部に取り出すことができるようにされている。以上により、加速度センサ100が構成されている。

【0058】図5の加速度センサ100において、上下方向に加速度が生じた場合には、圧電振動子1が上下方向に振動し、撓み振動が発生する。撓み振動が発生すると、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bの一方は伸びるように歪み、他方は縮むように歪む。ここで、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2aと圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2bは、分極軸が互いに逆方向となるようにシム(Si基板)30の両面に接合されているので、電極2a、2bには同じ極性の電荷が発生する。従って、加速度の大きさを反映した信号を得ることができる。

【0059】図5に示す加速度センサは、シム(Si基板)30の両面に圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bを接合することによって構成されているため、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bの厚さを薄くすることができる。これにより、大きな静電容量を得ることができるので、低周波数の加速度まで測定することが可能となる。また、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bを薄くしても、シムを用いることなく圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)を2枚直接接合したものに比べて対衝撃性が向上するので、大きな加速度まで測定することが可能となる。

【0060】圧電振動子1の長さ、厚さ及び幅とシム30の厚さは、測定対象となる加速度の周波数範囲を考慮して決定される。測定する加速度の周波数が圧電振動子1の共振周波数に近づくほど、加速度センサの感度は大きくなる。測定周波数範囲において、加速度センサの感度が周波数に大きく依存しないようにするためには、共振周波数を測定周波数範囲から十分に離すことが必要である。このためには、例えば、共振周波数が最高測定周波数の2倍の周波数となるように、圧電振動子1を設計すればよい。

【0061】以上のように、本実施の形態によれば、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電基板2a、2bをシム30に強固に直接接合することによって圧電振動子1を形成したので、特性のばらつきや振動の減衰などが無く、かつ、高い対衝撃性を有する加速度センサを実現することができる。また、接着剤を用いることなく、圧電振動子1を支持体4a、4bに直接接合するようにしたので、圧電振動子1の位置合わせを高精度に行うことができる。その結果、片持ち梁部の長さや支持状態にばらつきがなく、しかも安定性が高く、特性のばらつきの極めて小さい加速度センサを実現することができる。

【0062】尚、本実施の形態においては、圧電基板2a、2bをシム30の両面に接合しているが、必ずしもこの構成に限定されるものではなく、シム30のいずれか一方の面に圧電基板2a(又は2b)を接合してもよ



い。

【0063】また、本実施の形態においては、圧電基板2a、2bの材料として $\text{LiNbO}_3$ を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウムや水晶を用いてもよい。

【0064】また、本実施の形態においては、電極3a、3bの材料としてクロム-金を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、金、クロム、銀又は合金材料を用いてもよい。

【0065】また、本実施の形態においては、容器10a、10b、10c、10dの材料として $\text{LiNbO}_3$ を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ガラス、セラミックス又は樹脂などを用いてもよい。

【0066】また、本実施の形態においては、シム30の材料としてSiを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ガラスなどを用いてもよい。

【0067】また、本実施の形態においては、片持ち梁の支持体4a、4bの容器10b（又は10d）内への固定手段及び容器10a、10b、10c、10dの固定手段として直接接合を用いているが、必ずしもこの方法に限定されるものではなく、接着剤を用いて固定しても同様の特性を発揮させることができる。

【0068】また、本実施の形態においては、圧電振動子1を片持ち梁構造としているが、必ずしもこの構造に限定されるものではなく、圧電振動子1の両端を支持体に直接接合して両持ち梁構造としてもよく、圧電振動子1の中心を支持体に直接接合して中心支持構造としてもよい。

【0069】〈実施の形態2〉次に、図4、図5と同様の片持ち梁構造を有する加速度センサ及びその製造方法について説明する。図6、図7、図8は本発明の第2の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

【0070】まず、図6（a）に示すように、圧電基板12a、12bとしてニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）基板を用い、フォトレジストパターンをマスキング材としたサンドブラスト法により、片持ち梁部11a、11bを形成した。

【0071】また、図6（b）に示すように、シム31としてシリコン（Si）基板を用い、フォトレジストパターンをマスキング材とした異方性エッチング法により、片持ち梁部32を形成した。

【0072】次いで、図6（c）に示すように、Si基板（図6（b））の両面に、片持ち梁部11aを形成した圧電基板12aと片持ち梁部11bを形成した圧電基板12bをそれぞれ直接接合によって接合した。これにより、バイモルフ型振動子が得られた。直接接合は、上記したように親水化処理を施した後、加熱して行った。

この場合、2枚の圧電基板12a、12bの分極軸の向きが互いに逆方向となるように接合した。

【0073】次いで、図7に示すように、片持ち梁部の両面に、真空蒸着法によりクロム-金を蒸着して電極13a、13bを形成した。これにより、片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子15が得られた。圧電振動子15は、圧電基板12a、12bとシム31の開口周辺を支持体として支持されている。また、圧電基板12aの電極13aと同じ側の面に、導電層14aを形成した。この導電層14aは、電極13aに発生した電荷を外部電極20a（図8（b）、（c））に取り出すためのものである。さらに、圧電基板12bの電極13bと同じ側の面に、片持ち梁部と圧電基板12bの開口の反対側（図の右側）に導通するように導電層14bを形成した。

【0074】次いで、図8（a）に示すように、別の $\text{LiNbO}_3$ 基板に、フォトレジストパターンをマスキング材としたサンドブラスト法を用いて、凹部17を形成し、容器16a、16bを作製した。また、この容器16a、16bに、圧電基板12a、12b上の導電層14a、14bと電気的に接続するための貫通孔18を同時に形成した。

【0075】次いで、図8（b）に示すように、圧電振動子15が形成されている圧電基板12a、12bと容器16a、16bを直接接合によって接合した。これにより、圧電振動子15を容器16a、16b内に封じ込めた。圧電基板（ $\text{LiNbO}_3$ ）12a、12bと容器（ $\text{LiNbO}_3$ ）16a、16bとの接合部分には、導電層（クロム-金）14a、14bが形成されているため、圧電基板12a、12bと容器16a、16bを直接接合するのは困難であるが、圧電基板12a、12bと容器16a、16bの接合面積を導電層14a、14bの面積に比べて十分大きくとれば、強固に接合することができる。次いで、容器16a、16bの貫通孔18に、導電層14a、14bと電気的に接続されるように導電性ペーストを流し込み、焼成してスルーホール導電部19a、19bを形成した。さらに、容器16a、16bの上面に、スルーホール導電部19a、19bと導通するように銀パラジウムを印刷し、外部電極20a、20bを形成した。これにより、圧電振動子15上の電極13a、13bと外部電極20a、20bとが電気的に接続された。

【0076】次いで、図8（c）に示すように、ダイシングソーを用いて、基板を個々の加速度センサ101に切断した。圧電振動子15は、シム31の両面に強固に接合された2枚の圧電基板12a、12bからなる片持ち梁構造を有し、容器16a、16bに強固に接合されている。

【0077】図8（c）の加速度センサ101において、上下方向に加速度が生じた場合には、圧電振動子1

5が上下に振動し、撓み振動が発生する。撓み振動が発生すると、圧電基板12a、12bの一方は伸びるように歪み、他方は縮むように歪む。ここで、圧電基板12a、12bは、分極軸が互いに逆方向となるようにシム31の両面に接合されているので、電極13a、13bには同じ極性の電荷が発生する。これにより、加速度の大きさを反映した信号を得ることができる。

【0078】圧電振動子15の長さ、厚さ、幅及びシム31の厚さは、測定対象となる加速度の周波数範囲を考慮して決定される。測定する加速度の周波数が圧電振動子15の共振周波数に近づくほど、加速度センサ101の感度は大きくなる。測定周波数範囲において、加速度センサ101の感度が周波数に対して大きく依存しないためには、共振周波数を測定周波数範囲から十分に離すことが必要である。このためには、例えば、共振周波数が最高測定周波数の2倍の周波数となるように圧電振動子を設計すればよい。

【0079】以上のように、本実施の形態によれば、接着剤を用いることなく、圧電基板12a、12bがシム31に強固に直接接合されるので、機械的強度の強い圧電振動子15を有する加速度センサ101を実現することができ、工程上でも薄い圧電体を扱うことができる。また、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電基板12a、12bをシム31に強固に直接接合することによって圧電振動子15を形成したので、特性のばらつきや振動の減衰などが無く、かつ、高い対衝撃性を有する加速度センサ101を実現することができる。また、圧電振動子15が圧電基板からパターン形成されているため、形状と支持のばらつきが小さい。また、圧電振動子15が支持部と同時に形成され、接着剤を用いることなく、支持部材に極めて安定に直接接合されているので、支持状態のばらつきが少なく、位置合わせの精度が高い。また、片持ち梁の長さにはばらつきがないので、共振周波数などの特性ばらつきが極めて小さく、かつ、振動に対して高い感度を有する加速度センサを実現することができる。また、圧電振動子15と支持部材及び容器16a、16bを同一の材料で形成することができるので、温度による歪みなどの影響を受けることがなく、安定性に優れた加速度センサを実現することができる。また、1枚の基板に多数の加速度センサを一度に作製し得る量産性に優れた小型の加速度センサの製造方法を提供することができる。

【0080】尚、本実施の形態においては、圧電基板12a、12bをシム31の両面に接合しているが、必ずしもこの構造に限定されるものではなく、シム31のいずれか一方の面に圧電基板12a（又は12b）を接合してもよい。

【0081】また、本実施の形態においては、圧電基板12a、12bの材料として $\text{LiNbO}_3$ を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、

タンタル酸リチウムや水晶を用いてもよい。

【0082】また、本実施の形態においては、容器16a、16bの材料として $\text{LiNbO}_3$ を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウム、水晶、シリコン、ガラスなどを用いてもよい。最適には圧電振動子15を構成する圧電基板12a、12bと同じ材料がよく、好適には圧電振動子15の材料と熱膨張係数の近いものが望ましい。

【0083】また、本実施の形態においては、電極13a、13bの材料としてクロム—金を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、金、クロム、銀又は合金材料を用いてもよい。

【0084】また、本実施の形態においては、スルーホール導電部19a、19bの材料として導電性ペーストを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、半田や銀鉛などを用いてもよい。

【0085】また、本実施の形態においては、シム31の材料としてSiを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ガラスなどを用いてもよい。

【0086】また、本実施の形態においては、圧電基板12a、12b及びシム31に片持ち梁部を形成した後、これらを直接接合することによりバイモルフ型圧電振動子15を形成しているが、必ずしもこの順番に限定されるものではなく、2枚の圧電基板12a、12bをシム31に直接接合した後、片持ち梁部を形成してもよい。

【0087】また、本実施の形態においては、片持ち梁部11a、11b、32を形成した後、電極13a、13bを形成しているが、必ずしもこの順番に限定されるものではなく、電極13a、13bを形成した後に、片持ち梁部11a、11b、32を形成してもよい。

【0088】また、本実施の形態においては、圧電基板12a、12bへの片持ち梁部11a、11bの加工方法や容器16a、16bへの貫通孔18の加工方法としてサンドブラスト法を用いているが、必ずしもこの方法に限定されるものではなく、例えば、ドライエッチング、ウェットエッチング、レーザ加工、イオンビーム加工、ダイシングやワイヤソーなどの機械加工、ウオータージェット加工、放電加工などを用いてもよい。

【0089】また、本実施の形態においては、電極13a、13bの形成方法として真空蒸着法を用いているが、必ずしもこの方法に限定されるものではなく、例えば、スパッタ法、CVD法などの気相成膜法や、メッキ、印刷などの方法を用いてもよい。

【0090】また、本実施の形態においては、シム31への片持ち梁部32の加工方法としてエッチング法を用いているが、必ずしもこの方法に限定されるものではなく、例えば、ドライエッチング、レーザ加工、イオンビーム加工、ダイシングやワイヤソーなどの機械加工、ウ

オータージェット加工、放電加工、サンドブラスト加工などを用いてもよい。

【0091】また、本実施の形態においては、外部電極20a、20bを容器16a、16bの上面に設けているが、必ずしもこの構成に限定されるものではなく、容器16a、16bの側面あるいは側面と上面にまたがるように設けてもよい。

【0092】また、本実施の形態においては、導電層14a、14bと外部電極20a、20bとの接続を、容器16a、16bに貫通孔18を設けることにより行っているが、必ずしもこの方法に限定されるものではなく、容器16a、16bに切り欠き等を設けることにより行ってもよい。

【0093】また、導電層14a、14bの存在により、圧電振動子15を形成する圧電基板12a、12bとシム31、又は圧電振動子15を形成する圧電基板12a、12bと容器16a、16bが十分な強度を持って接合されない場合には、接合面に酸化シリコン膜をバッファ層として形成し、これを介して接合すれば、強い接合強度を得ることができる。

【0094】〈実施の形態3〉図9は本発明の第3の実施の形態の加速度センサを示す分解斜視図である。図9に示すように、 $\text{LiNbO}_3$  からなる容器27bには、バイモルフ型の圧電振動子21がその両端を支持された状態で設けられている（両持ち梁構造）。バイモルフ型の圧電振動子21は、シム（Si基板）30の両面に圧電基板（ $\text{LiNbO}_3$ ）22a、22bが直接接合されることによって構成されている。そして、容器27bには、同じく $\text{LiNbO}_3$  からなる容器27aが直接接合されている。また、容器27a、27bの外面には、それぞれ外部電極26a、26b（26bは図示せず）が形成されている。これにより、圧電振動子21上の電極23a、23b（23bは図示せず）に発生した電荷を外部に取り出すことができるようにされている。以上により、加速度センサ200が構成されている。

【0095】本実施の形態の両持ち梁構造の加速度センサ200も、上記第2の実施の形態と同様の方法によって製造することができる。すなわち、図10に示すように、まず、2枚の圧電基板（ $\text{LiNbO}_3$ ）22a、22bとシム（Si基板）30に、両持ち梁部を形成して、圧電基板22a、22bをシム30の両面に直接接合することにより、バイモルフ型圧電素子を作製する。次いで、両持ち梁部の上に電極23a、23bを形成し、バイモルフ型の圧電振動子21を作製する。次いで、外部電極26a、26b（図9）と電極23a、23bを接続するための導電層24a、24b（24bは図示せず）を形成する。この両持ち梁構造の圧電振動子21は、上記第2の実施の形態と同じく、基板上に同時に多数形成して量産性を高めることができる。圧電振動子21を形成した圧電基板22a、22bに、上記第2

の実施の形態と同様の工程を用いて凹部と貫通孔を形成した $\text{LiNbO}_3$  基板を直接接合して、容器27a、27bを形成する。最後に、外部電極26a、26bなどを設け、加速度センサ200を作製する。

【0096】両持ち梁構造を用いた場合には、同じ長さ、厚さの圧電振動子であっても、片持ち梁構造の場合より共振周波数が高くなるので、さらに高い周波数範囲まで測定可能となる。圧電振動子21の長さ、厚さ、幅及びシム30の厚さは、測定対象となる加速度の周波数範囲を考慮して決定される。測定する加速度の周波数が圧電振動子21の共振周波数に近づくほど、加速度センサ200の感度は大きくなる。測定周波数範囲において、加速度センサ200の感度が周波数に大きく依存しないようにするためには、共振周波数を測定周波数範囲から十分に離すことが必要である。このためには、例えば、共振周波数が最高測定周波数の2倍の周波数となるように圧電振動子を設計すればよい。

【0097】本実施例の加速度センサ200は、圧電基板22a、22bをシム30に直接接合することによって構成されるため、圧電基板22a、22bである $\text{LiNbO}_3$  の厚さを薄くすることが可能となる。その結果、大きな静電容量を得ることができるので、低周波数まで測定可能となる。 $\text{LiNbO}_3$  を薄くしても、シムを用いることなく $\text{LiNbO}_3$  を2枚直接接合したものに比べて対衝撃性が向上し、大きな加速度まで測定することが可能となる。

【0098】以上のように、本実施の形態によれば、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電基板22a、22bをシム30に強固に直接接合させることによって圧電振動子21を形成したので、対衝撃性が高く、特性のばらつきや振動の減衰などの無い加速度センサを実現することができる。また、圧電振動子21を容器27a、27bに直接接合するようにしたので、圧電振動子21の位置合わせの精度が高く、両持ち梁部の長さや支持状態がばらつくことはない。その結果、安定性が高く、特性のばらつきが極めて小さい加速度センサを実現することができる。

【0099】尚、本実施の形態においては、圧電基板22a、22bをシム30の両面に接合しているが、必ずしもこの構成に限定されるものではなく、シム30のいずれか一方の面に圧電基板22a（又は22b）を接合してもよい。

【0100】また、本実施の形態においては、圧電基板22a、22bの材料として $\text{LiNbO}_3$  を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウムや水晶を用いてもよい。

【0101】また、本実施の形態においては、シム30の材料としてSiを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ガラスを用いてもよい。

【0102】また、本実施の形態においては、容器27

a、27bの材料としてとしてLiNbO<sub>3</sub>を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウム、水晶、シリコン、ガラスなどを用いてもよい。最適には圧電振動子21を構成する圧電基板22a、22bと同じ材料がよく、好適には圧電振動子21の材料と熱膨張係数の近いものが望ましい。

【0103】〈実施の形態4〉図11は本発明の第4の実施の形態の圧電振動子を示す断面図である。図11に示すように、支持体4a、4bには、ガラス基板からなるシム30の一端が挟持されている。ここで、支持体4a、4bとシム30とは直接接合されている。シム30の両面には、LiNbO<sub>3</sub>からなる2枚の圧電基板2a、2bが直接接合によって形成されている。ここで、圧電基板2a、2bは、シム30の全面に直接接合せず、支持体4a、4bとの間に若干の間隙を置いて接合した。また、圧電基板2a、2bの外側面には、それぞれクロム—金からなる電極3a、3bが形成されている。これにより、片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子1が構成されている。このように、本実施の形態の加速度センサに用いる圧電振動子1は、シム30の一部が露出した構造となっている。尚、支持体4a、4bとしては、シム30と熱膨張率の差が小さい材料が好ましく、本実施の形態では、シム30と同じガラスを用いた。

【0104】図11の加速度センサの圧電振動子1は、図3に示した加速度センサの圧電振動子と異なり、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bが支持されず、シム30が直接接合されることによって支持されている。加速度センサの出力感度は、加速度によって圧電振動子1に生じた撓み振動による変位を電荷に変換することによって得られる。図3に示した圧電振動子の場合には、圧電基板も支持されているので、大きな変位を得ることは困難である。また、図3に示した圧電振動子の場合には、支持端付近の変位の傾きがゼロに近く、支持端付近の変位は小さくなる。一方、図11に示した本実施の形態の圧電振動子1は、シム30のみが支持されているので、同じ加速度に対して大きな変位が得られる。また、圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bは支持体4a、4bに支持されていないため、長さ方向の全域で変位が得られる。従って、図11の構造の圧電振動子1を用いた加速度センサは高い感度を得ることができる。

【0105】図11に示した加速度センサは、シム30に圧電基板(LiNbO<sub>3</sub>)2a、2bを接合するものであるため、LiNbO<sub>3</sub>の厚さを薄くすることが可能となる。これにより、大きな静電容量を得ることができるので、低周波数まで測定可能となる。LiNbO<sub>3</sub>を薄くしても、シムを用いることなくLiNbO<sub>3</sub>を2枚直接接合したものに比べて対衝撃性が向上し、大きな加速度まで測定することが可能となる。

【0106】以上のように、本実施の形態によれば、接

着剤などの接着層を用いることなく、圧電基板2a、2bをシム30に強固に接合させることによって圧電振動子1を構成したので、特性のばらつきや振動の減衰などが無く、かつ、高い対衝撃性を有する加速度センサを実現することができる。また、接着剤を用いることなく、圧電振動子1が支持体4a、4bに直接接合されているので、圧電振動子1の位置合わせを高精度に行うことができ、片持ち梁部の長さや支持状態がばらつくことはない。その結果、安定で特性ばらつきが極めて小さく、しかも高感度の加速度センサを実現することができる。

【0107】尚、本実施の形態においては、圧電基板2a、2bをシム30の両面に接合しているが、必ずしもこの構成に限定されるものではなく、シム30のいずれか一方の面に圧電基板2a(又は2b)を接合してもよい。

【0108】また、本実施の形態においては、圧電振動子1の支持方法として片持ち梁構造を用いているが、必ずしもこの構造に限定されるものではなく、圧電振動子1の両端にシム30を露出し、支持体4a、4bを直接接合して両持ち梁構造としてもよく、圧電振動子1の中心にシム30を露出し、支持体4a、4bをシム30に直接接合して中心支持構造としてもよい。

【0109】また、本実施の形態においては、圧電基板2a、2bの材料としてLiNbO<sub>3</sub>を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウムや水晶を用いてもよい。

【0110】また、本実施の形態においては、シム30の材料としてガラスを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、シリコンを用いてもよい。

【0111】また、本実施の形態においては、支持体4a、4bの材料としてガラスを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、水晶、シリコンなどを用いてもよい。最適には圧電振動子1を構成するシム30と同じ材料がよく、好適には圧電振動子1の材料と熱膨張係数の近いものが望ましい。

【0112】また、本実施の形態においては、電極3a、3bの材料としてクロム—金を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、金、クロム、銀又は合金材料を用いてもよい。

【0113】〈実施の形態5〉次に、図11と同様の片持ち梁構造を有する加速度センサ及びその製造方法について説明する。図12は本発明の第5の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

【0114】まず、図12(a)に示すように、シム31としてシリコン(Si)基板を用い、フォトリソグラフィパターンをマスキング材とした異方性エッチング法によって片持ち梁部11を形成した。

【0115】次いで、図12(b)に示すように、シム

31の片持ち梁部11の片面に、 $\text{LiNbO}_3$  からなる圧電基板12を直接接合によって接合し、圧電素子を作製した。直接接合は、上記したように、親水化処理を施した後、加熱して行った。図6と異なり、片持ち梁部11以外には、圧電基板12は接合されていない。

【0116】次いで、図12(c)に示すように、片持ち梁部11の支持部付近に酸化珪素からなる絶縁膜33を形成し、絶縁膜33上と圧電基板12の主面に電極13を形成した。これにより、圧電振動子15を作製した。次いで、圧電振動子15に、上記第2の実施の形態と同様の工程を用いて凹部と貫通孔を形成したガラス基板を直接接合して、容器16a、16bを形成した。次いで、容器16a、16bの貫通孔に、電極13及び開口の反対側(図の右側)のSi基板と電気的に接続されるように導電性ペーストを流し込み、焼成してスルーホール導電部19a、19bを形成した。さらに、容器16a、16bの上面に、スルーホール導電部19a、19bと導通するように銀パラジウムを印刷し、外部電極20a、20bを形成した。これにより、圧電振動子15上の電極13と外部電極20aとが電気的に接続され、開口の反対側(図の右側)のSi基板と外部電極20bとが電気的に接続された。Si基板からなるシム31は低抵抗であり、圧電基板( $\text{LiNbO}_3$ )12の一方の面の電極を兼ねている。以上により、加速度センサ101が作製された。

【0117】図12(c)の加速度センサは、図11と同様に圧電基板( $\text{LiNbO}_3$ )12が支持されず、シム(Si基板)31のみが支持されているため、加速度に対する変位が大きく、高い感度を得られる。

【0118】図12(c)に示した加速度センサは、シムを用いることなく $\text{LiNbO}_3$  基板を2枚直接接合して作製したものに比べて対衝撃性が向上し、大きな加速度まで測定することができる。また、静電容量を大きくとることができるので、低周波でも高い感度を得ることができる。

【0119】図13は上記と同様の工程で作製し得る本発明の第5の実施の形態の両持ち梁構造の圧電振動子を示す斜視図である。シム30の材料としてSiを用い、Si上に両持ち梁部を形成した。この両持ち梁部の片面のみに、圧電基板( $\text{LiNbO}_3$ )12を直接接合によって接合した。これにより、圧電基板12は支持されず、シム30のみが支持された両持ち梁構造の圧電素子が得られた。また、圧電基板12の上には電極23が形成されており、これにより圧電振動子21が得られた。この構造を用いることにより、高い周波数の加速度まで高感度に検出することができ、かつ、対衝撃性に優れた加速度センサが得られる。

【0120】以上のように、本実施の形態によれば、接着剤を用いることなく、シム30、31に圧電基板12を強固に直接接合することによって圧電振動子15、2

1を構成したので、機械的強度の強い圧電振動子15、21を有し、しかも振動の減衰などが無い加速度センサを実現することができる。また、圧電振動子15、21が圧電基板12からパターン形成されているので、形状と支持のばらつきが小さくなる。また、片持ち梁部が支持部と同時に形成され、圧電基板12が支持部材に接着剤を用いることなく極めて安定に直接接合されているので、片持ち梁部の長さのばらつきが無くなると共に、支持状態のばらつきが小さくなり、しかも片持ち梁部の位置合わせを高精度に行うことができるようになる。その結果、共振周波数などの特性ばらつきが極めて小さく、かつ、振動に対して高い感度を有する加速度センサを実現することができる。また、圧電振動子と支持部材及び容器を同一の材料で作製することができるので、温度による歪みなどの影響を受けることがなく、高感度で安定性に優れた加速度センサを実現することができる。また、1枚の基板に多数の加速度センサを一度に作製し得る量産性に優れた加速度センサの製造方法を提供することができる。

【0121】尚、本実施の形態においては、圧電基板12の材料として $\text{LiNbO}_3$  を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウムや水晶を用いてもよい。

【0122】また、本実施の形態においては、シム30、31の材料としてSiを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、ガラスを用いてもよい。

【0123】また、本実施の形態においては、電極13、23の材料としてクロム—金を用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、金、クロム、銀又は合金材料を用いてもよい。

【0124】また、本実施の形態においては、容器16a、16bの材料としてガラスを用いているが、必ずしもこれに限定されるものではなく、例えば、タンタル酸リチウム、水晶、シリコンなどを用いてもよい。最適には圧電振動子15を構成する圧電基板12と同じ材料がよく、好適には圧電振動子15の材料と熱膨張係数の近いものが望ましい。

【0125】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る加速度センサの第1の構成によれば、シムに圧電体が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えたものである。以下の作用を奏することができる。すなわち、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電体をシムに直接接合することによって圧電素子を形成するようにしたので、従来のように圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、感度を低下させることはない。また、シムと圧電体の接合状態が均一となるので、特性にばらつきが生じることもない。また、十

分な機械的強度が得られるので、高い対衝撃性を有する加速度センサを実現することができる。

【0126】また、本発明に係る加速度センサの第2の構成によれば、シム基板に形成された梁と、前記梁の少なくとも一方の面に圧電基板が直接接合されてなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を収納する容器とを備え、前記圧電振動子と前記容器とが直接接合されていることを特徴とするので、圧電振動子の位置合わせを高精度に行うことができるので、梁部の長さや支持状態にばらつきが生じることはない。その結果、安定性が高く、特性のばらつきの極めて小さい加速度センサを実現することができる。また、本構成によれば、1枚の基板に多数の加速度センサを一度に作製することが可能となるので、量産性に優れた加速度センサを実現することができる。

【0127】また、前記本発明方法の構成によれば、シム及び圧電体からなる圧電素子と、前記圧電素子の主面に形成された電極とからなる圧電振動子と、前記圧電振動子を支持する支持体とを備えた加速度センサの製造方法であって、シムに圧電体を直接接合することによって圧電素子を形成することを特徴とするので、以下の作用を奏することができる。すなわち、接着剤などの接着層を用いることなく、圧電体をシムに直接接合することによって圧電素子を形成するようにしたので、従来のように圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、感度を低下させることはない。また、シムと圧電体の接合状態が均一となるので、特性にばらつきが生じることもない。また、十分な機械的強度が得られるので、高い対衝撃性を有する加速度センサが得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の圧電振動子を示す斜視図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の圧電振動子の製造方法における直接接合の各段階の基板界面状態を示す説明図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態の片持ち梁構造のバイモルフ型圧電振動子を示す断面図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態の加速度センサの一例を示す分解斜視図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態の加速度センサの他の例を示す断面図である。

【図6】本発明の第2の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

【図9】本発明の第3の実施の形態の加速度センサを示す分解斜視図である。

【図10】本発明の第3の実施の形態の圧電振動子を示す斜視図である。

【図11】本発明の第4の実施の形態の圧電振動子を示す断面図である。

【図12】本発明の第5の実施の形態の加速度センサの製造方法を示す工程図である。

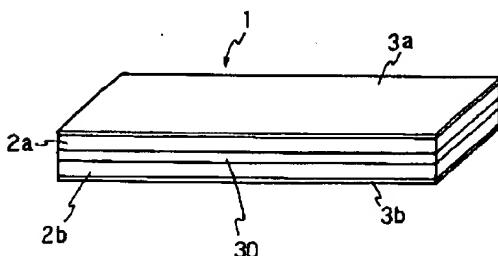
【図13】本発明の第5の実施の形態の両持ち梁構造の圧電振動子を示す斜視図である。

【図14】圧電型加速度センサに使用する回路図である。

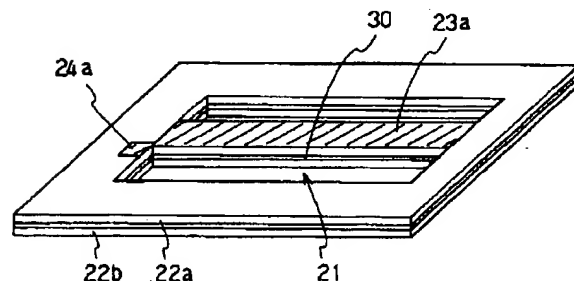
#### 【符号の説明】

- 1、15、21・・・圧電振動子
- 2a、2b、12a、12b・・・圧電基板
- 3a、3b、13a、13b、23・・・電極
- 4a、4b・・・支持体
- 7a、7b、14a、14b・・・導電層
- 9a、9b、20a、20b、26・・・外部電極
- 10a、10b、16a、16b、27a、27b・・・容器
- 11、32・・・片持ち梁部
- 17・・・凹部
- 18・・・貫通孔
- 19a、19b・・・スルーホール導電部
- 30、31・・・シム
- 33・・・絶縁膜
- 100、101、200・・・加速度センサ

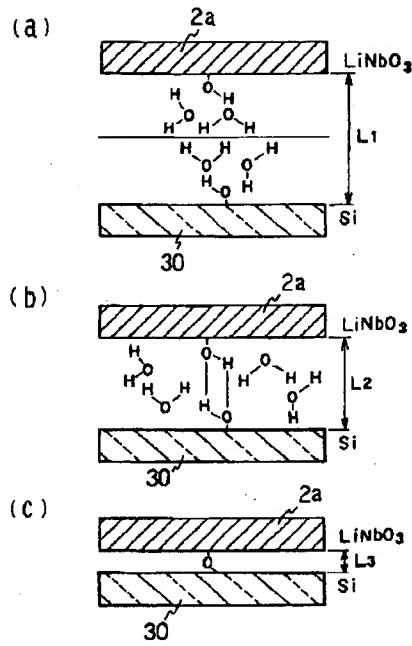
【図1】



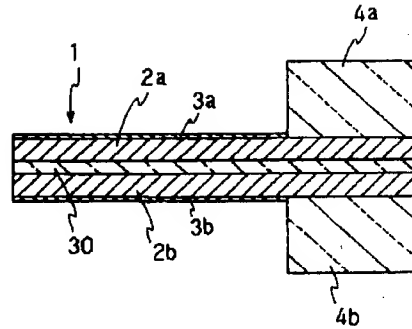
【図10】



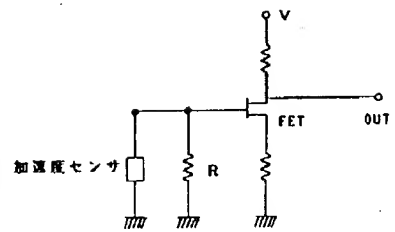
【図2】



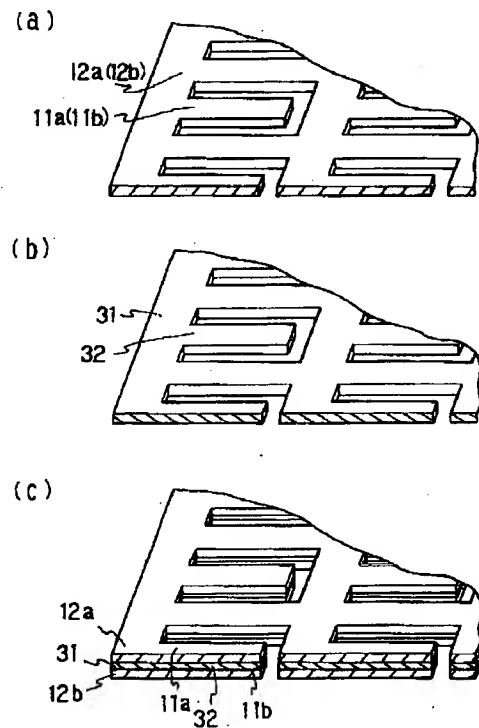
【図3】



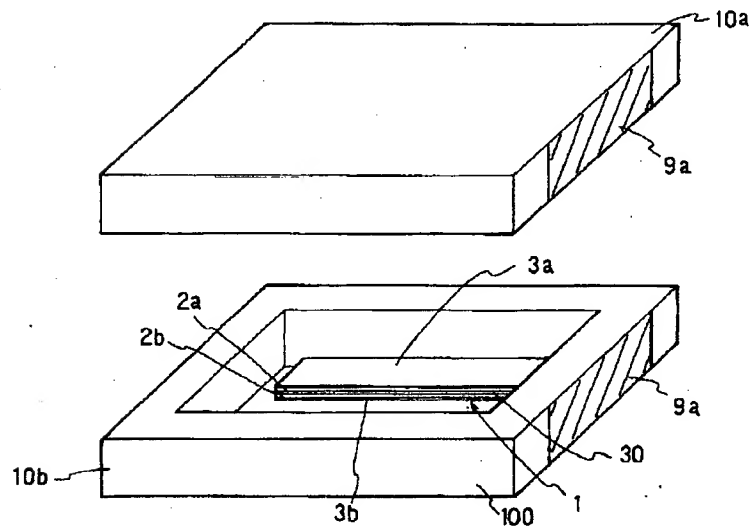
【図14】



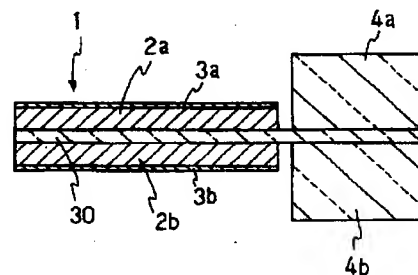
【図6】



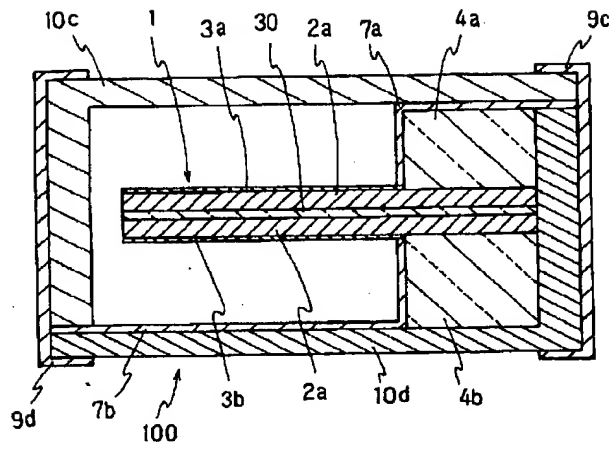
【図4】



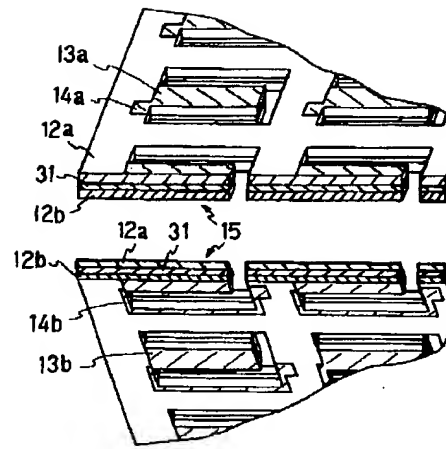
【図11】



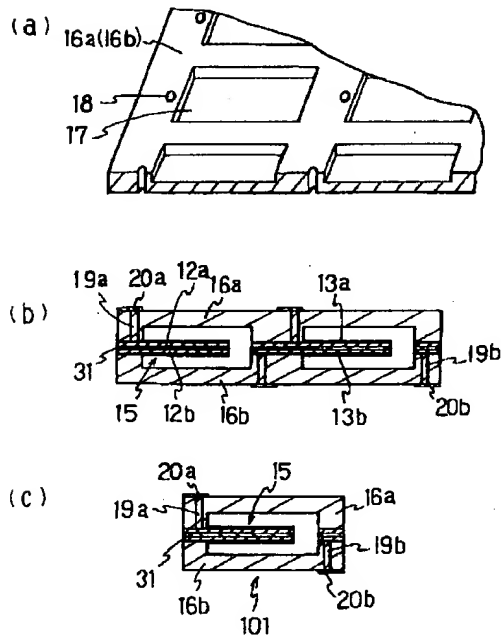
【図5】



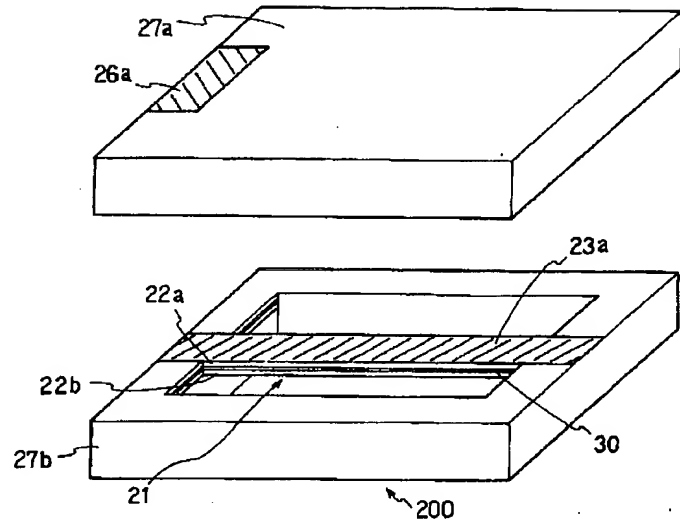
【図7】



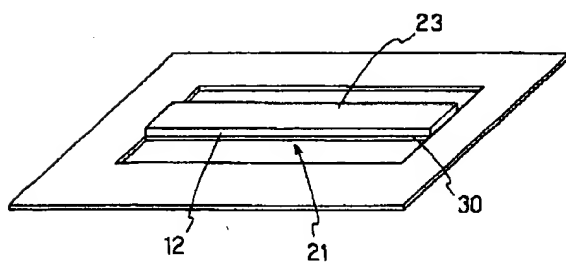
【図8】



【図9】

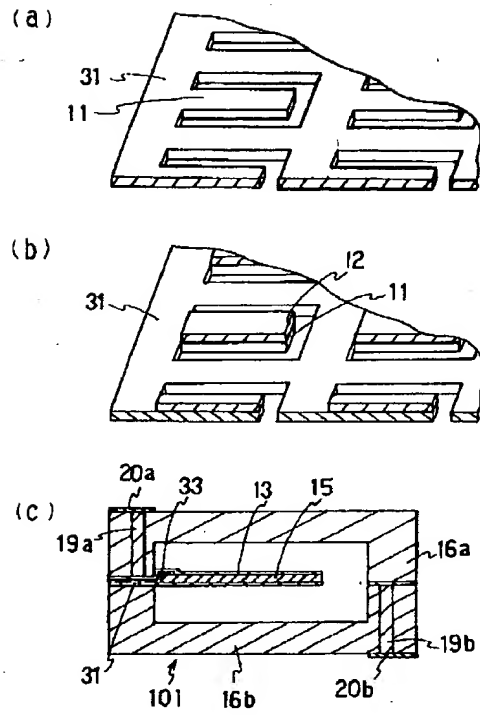


【図13】





【図12】




---

フロントページの続き

(72)発明者 富田 佳宏  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内

(72)発明者 川崎 修  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内